

La fertilización inorgánica y los hongos micorrícicos en el cultivo de maíz*

B. Grümberg¹, C. Conforto¹, C. Pérez Brandán², A. Rovea³, M. Boxler³, S. Rodríguez Grastorf³, J. Minteguía³, C. Luna¹, J. Meriles⁴, y S. Vargas Gil¹

Introducción

La calidad del suelo es un indicador de la eficacia del manejo de los agroecosistemas. Uno de los parámetros para medir la calidad del suelo es su microbiota, y esto se debe a que la dinámica de las poblaciones microbianas puede describir la situación y tendencias de las condiciones del suelo en respuesta a las prácticas de manejo (Doran y Parkin, 1994; Vargas Gil et al., 2009). Dentro de las poblaciones de microorganismos, los hongos micorrícicos (HMA) tienen estrecha relación con la nutrición de las plantas, sobre todo en lo relacionado a la absorción de fósforo (P), ya que se establecen en simbiosis en el sistema radical, produciéndose un intercambio de solutos y agua. Debido a la presencia de micorrizas, las plantas aumentan la superficie de absorción de sus raíces, dado el gran volumen de suelo que es explorado por las hifas de estos hongos (Mosse y Phillips, 1971). Los HMA producen glomalina, que es una glicoproteína que se acumula en la pared celular de las hifas, que tiene como característica la adhesión de partículas del suelo, con materiales orgánicos que contienen carbono (C). Es decir que la presencia de glomalina, contribuye con la aglutinación del suelo, favorece la retención de C, y previene el flujo rápido de agua dentro de los aglomerados, siendo imprescindible en la formación, productividad y sostenibilidad del suelo así como en el almacenamiento del C. Por estas razones, la glomalina puede ser cuantificada para calcular la eficiencia de las prácticas culturales, en el almacenamiento de C (Wright y Upadhyaya, 1999). Debido a todas estas características, la glomalina puede ser empleada como indicador de los efectos del cambio en el uso del suelo.

Cuando se agregan fertilizantes al suelo ocurren una serie de complejas reacciones químicas y microbiológicas que no solo influyen el crecimiento y desarrollo de las plantas, sino también producen cambios a corto y largo plazo en las poblaciones de microorganismos del suelo.

Sin embargo, los reportes sobre estos cambios son inconsistentes, ya que en algunos casos la biomasa microbiana y su actividad fueron estimulados (Biederbeck et al., 1984), mientras que en otros casos los efectos fueron contrarios o nulos (Clegg, 2006). Es por eso que en este trabajo planteamos como objetivo analizar el efecto de la fertilización inorgánica sobre el contenido de glomalina del suelo, y la relación de esta proteína con otros bioindicadores microbianos, con parámetros químicos y físicos del suelo, y con el rendimiento del cultivo de maíz.

Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en la campaña 2010/11 en un ensayo en el establecimiento Balducchi, ubicado en la localidad de Teodelina (Santa Fe), que forma parte de la Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe (CREA-IPNI-ASP). En ese ensayo, bajo rotación maíz-trigo/soja, se evalúan, anualmente desde la campaña 2000/01, fertilizaciones con N, P, S y micronutrientes en las siguientes combinaciones: PS, NS, NP, NPS, NPS+Micronutrientes (**Tabla 1**), y Testigo (sin adición de fertilizante) en 3 repeticiones siguiendo un diseño en bloques completos al azar.

Hacia el final del ciclo del cultivo se tomaron muestras de suelo provenientes de los 5 primeros cm. De cada parcela se extrajeron seis muestras de suelo

Tabla 1. Dosis de fertilizantes agregados en maíz en los diferentes tratamientos de un ensayo de larga duración. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Campaña 2010/11.

Nutrientes kg ha ⁻¹	Tratamientos					
	Testigo	PS	NS	NP	NPS	NPS + Micros
N	-	18	160	160	160	160
P	-	35	-	35	35	35
K	-	-	-	-	-	14
Mg	-	-	-	-	-	8
S	-	17	17	-	17	17
B	-	-	-	-	-	1
Zn	-	-	-	-	-	2
Cu	-	-	-	-	-	2

¹ Instituto de Patología Vegetal (IPAVE-INTA). Córdoba, Argentina. Correo electrónico: svargasgil@ciap.inta.gov.ar

² EEA Salta, INTA

³ Grupo CREA Región Sur de Santa Fe

⁴ Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal (IMBIV- CONICET), UNC

* Trabajo presentado en el XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo - XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, 16-20 de Abril de 2012, Mar del Plata, Argentina.

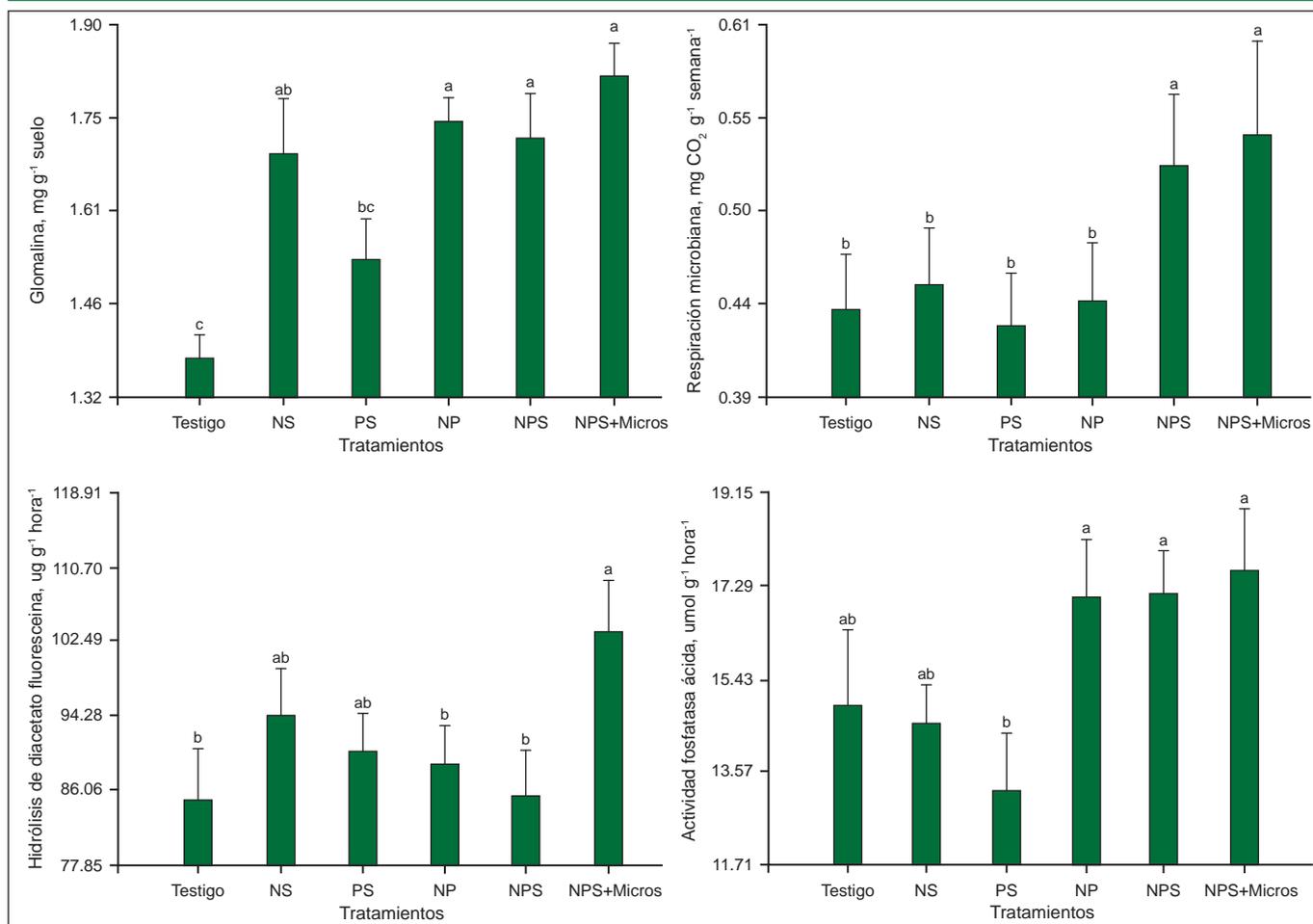


Figura 1. Efecto de la fertilización inorgánica sobre el contenido de glomalina del suelo, la respiración microbiana, la hidrólisis de diacetato de fluoresceína (FDA), y la actividad fosfatasa ácida, cuantificados en un ensayo ubicado en la localidad de Teodelina (Santa Fe). Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Campaña 2010/11. Las barras con letras diferentes son significativamente diferentes de acuerdo al test LSD ($P \leq 0.05$).

compuestas, siguiendo un diseño en V. Los muestreos se efectuaron 15-20 días antes de la cosecha del cultivo. Las muestras fueron conservadas en frío hasta la posterior determinación de los siguientes parámetros:

- **Parámetros biológicos:** La cuantificación de glomalina fácilmente extractable se realizó según Wright y Upadhyaya (1996). Para la determinación de respiración microbiana, el carbono potencialmente mineralizable se cuantificó mediante la técnica de Alef (1995). La hidrólisis de diacetato de fluoresceína (FDA) se realizó según Adam y Duncan (2001). La cuantificación de la enzima deshidrogenasa se realizó según García et al. (1997), mientras que la fosfatasa ácida se cuantificó según Tabatabai y Bremner (1969).
- **Parámetros químicos:** Se determinaron los siguientes parámetros: contenido de C total (Black, 1965), N total por micro-Kjeldhal (Bremner, 1996), P extractable (Bray y Kurtz, 1945) y Azufre (Fontanive et al., 2004).
- **Parámetros físicos:** Se realizó la cuantificación de estabilidad de agregados por la técnica de los microtamices (Corvalán et al., 2000).

Análisis estadístico

Los análisis estadísticos se llevaron a cabo mediante el empleo del programa InfoStat Profesional versión 2011 (Universidad Nacional de Córdoba, Argentina). La normalidad de los datos se comprobó mediante el test de Shapiro-Wilks. Las diferencias entre tratamientos fueron determinadas mediante el uso del test de diferencias mínimas significativas (LSD). Además se utilizó el análisis de componentes principales (ACP) como herramienta del análisis multivariado, para determinar los parámetros de mayor influencia en la diferenciación de los tratamientos. Finalmente, se realizó un análisis de correlación para establecer la relación entre la glomalina y otros parámetros biológicos, químicos y físicos edáficos y el rendimiento de maíz, con $P \leq 0.05$.

Resultados y discusión

Según los resultados encontrados, el contenido de glomalina fue mayor en los tratamientos NP, NPS y NPS+Micros (**Figura 1**). En coincidencia con esto, la actividad microbiana también fue mayor en estos tratamientos. La respiración microbiana fue mayor en NPS y NPS+Micros, mientras que la FDA fue mayor en

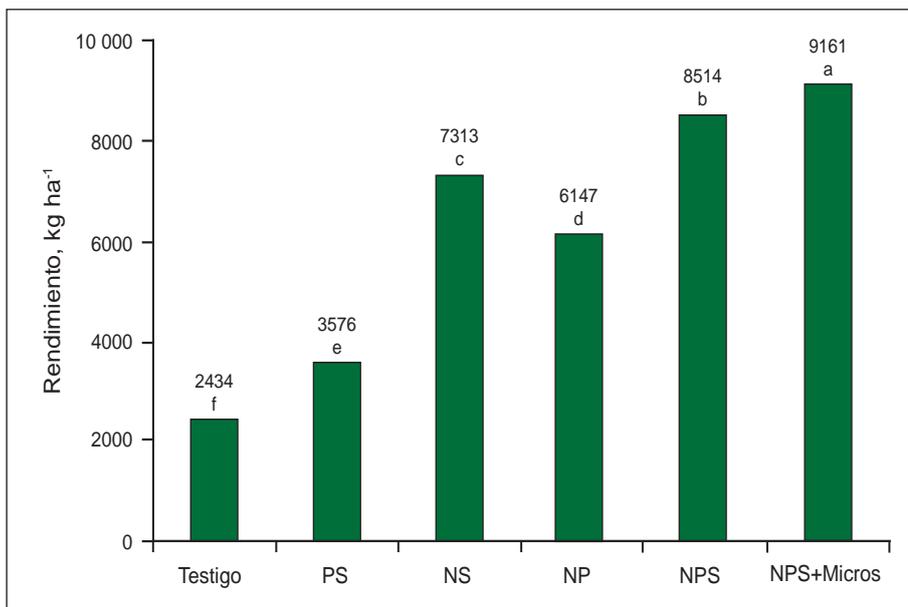


Figura 2. Efecto de la fertilización inorgánica sobre el rendimiento del cultivo de maíz, en un ensayo ubicado en la localidad de Teodelina (Santa Fe). Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Las barras con letras diferentes son significativamente diferentes de acuerdo al test LSD ($P \leq 0.05$).

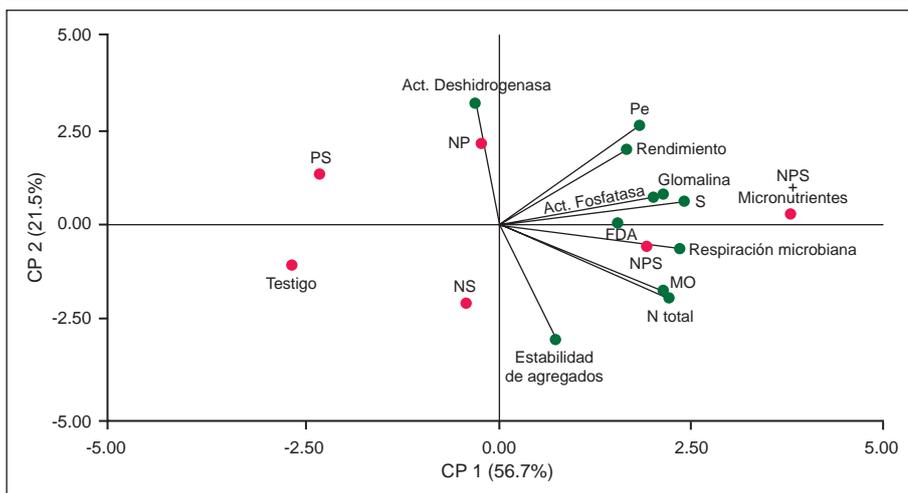


Figura 3. Biplot, análisis de componentes principales (ACP) de diferentes variables bajo distintos tratamientos de fertilización inorgánica en maíz. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. MO: Materia orgánica, FDA: Hidrólisis de diacetato de fluoresceína.

el tratamiento NPS+Micros, y finalmente, la actividad fosfatasa ácida fue mayor en los tratamientos NP, NPS y NPS+Micros. Por otra parte, el rendimiento del cultivo de maíz fue mayor en los tratamientos PS, NP, NPS, NPS+Micros (**Figura 2**).

Finalmente, según el ACP (**Figura 3**), los tratamientos se diferenciaron claramente de acuerdo al peso de las variables. El Componente 1 explicó 56.7% de la variabilidad de los datos, mientras que el Componente 2 explicó 21.5% de la varianza, explicando ambos 78.2% de la variabilidad total. Por otra parte, el contenido de glomalina, la respiración microbiana, y la actividad fosfatasa ácida son las variables biológicas que mayormente contribuyeron a diferenciar a los tratamientos NPS y NPS+Micros, del resto de los

tratamientos, a lo largo del eje 1. Mientras que, también a lo largo del eje 1, los tratamientos PS y Testigo se mostraron totalmente diferentes a NPS y NPS+Micros. Además, en los tratamientos NPS y NPS+Micros se registraron mayores valores de MO, N total y S, a lo largo del eje 1, contribuyendo a la diferenciación de los tratamientos.

Los coeficientes de correlación de Pearson (**Tabla 2**) mostraron que efectivamente hubo correlación positiva y significativa entre el contenido de glomalina del suelo y los restantes parámetros biológicos cuantificados, con los parámetros químicos y con la estabilidad de agregados y el rendimiento de maíz.

De acuerdo a los resultados obtenidos, el contenido de glomalina fue influenciado por los diferentes tratamientos de fertilización. El tratamiento NPS+Micros fue el que, en general, mostró mayor contenido de glomalina y mayor abundancia y actividad microbiana. Varios trabajos señalan los efectos positivos de la fertilización inorgánica sobre las poblaciones microbianas del suelo (Biederbeck et al., 1984; Buyanovsky y Wagner, 1987, Vargas Gil et al., 2009). Los autores afirman que en general, al mejorar la fertilidad del suelo aumenta el crecimiento de las plantas, con el consiguiente incremento en las rizodeposiciones liberadas por la raíz, aumentando así la diversidad microbiana y sus actividades. Esto explica el motivo

por el que el ACP mostró una clara diferenciación entre los tratamientos, con mayor biomasa microbiana en los tratamientos con fertilización balanceada. Según algunos autores (Wu et al., 2011), todavía no se conoce claramente el efecto de la fertilización química sobre los HMA. Otros trabajos muestran que se encontró mayor colonización radicular por HMA cuando se fertilizó repetidamente con P (Graham y Abbott, 2000), mientras que algunos autores mencionan que no encontraron respuesta alguna por parte de los HMA a la fertilización, a pesar de haber registrado cambios en la diversidad fúngica y bacteriana general del suelo (Beauregard et al., 2009).

Por su parte, los parámetros químicos también fueron influenciados por la fertilización inorgánica. En los

Tabla 2. Análisis de correlación del contenido de glomalina del suelo con otros parámetros biológicos del suelo, con parámetros químicos y físicos y con el rendimiento de maíz en un ensayo con diferentes tratamientos de fertilización.

Parámetros	Coefficientes de correlación de Pearson con el contenido de glomalina del suelo
Respiración microbiana, mg CO ₂ g ⁻¹ semana ⁻¹	0.37*
Hidrólisis de diacetato de fluoresceína, ug g ⁻¹ hora ⁻¹	0.17*
Actividad fosfatasa ácida, umol g ⁻¹ hora ⁻¹	0.21*
MO, %	0.36*
N total, %	0.38*
Pe, ppm	0.19*
S, %	0.39*
Estabilidad de agregados, %	0.15*
Rendimiento, kg ha ⁻¹	0.40*

* Significativo con P≤0.05

respuesta a la fertilización química. Los tratamientos con nutrición más balanceada (N, P, S+Micronutrientes) produjeron un incremento de los parámetros biológicos, químicos y físicos del suelo. El contenido de glomalina tuvo una correlación positiva y significativa con los factores biológicos (respiración microbiana, hidrólisis de diacetato de fluoresceína y actividad fosfatasa ácida), con las variables químicas (MO, N total, Pe, S) y con la estabilidad de agregados y la productividad del cultivo de maíz.

Agradecimientos

El trabajo fue financiado por el Convenio de Vinculación Tecnológica INTA-CREA Sur de Santa Fe. Proyecto Específico (INTA) "Comunidades microbianas del suelo: Estructura y funciones en respuesta al manejo".

tratamientos sin fertilización (Testigo) se registraron menores contenidos de MO, N total, P y S, como muestra el ACP. Justamente algunos autores señalan que cuando el suelo es tratado con fertilizantes minerales, una serie de complejas reacciones tiene lugar en el sistema, influenciando el desarrollo de las plantas e induciendo varios cambios a corto y largo plazo en las variables químicas (Biederbeck et al., 1984).

Se registró una correlación significativa y positiva entre el contenido de glomalina del suelo y los demás parámetros biológicos que se cuantificaron, como también con los parámetros químicos, la estabilidad de agregados y el rendimiento de maíz (Tabla 2). Algunos autores (Wilson et al., 2009; Wu et al., 2011), también encontraron resultados similares. Estos investigadores afirman que el 80% del contenido de glomalina del suelo proviene de las hifas y esporas de los HMA, y que la fertilización mineral produce un incremento de las redes hifales, lo que aumenta indirectamente el contenido de glomalina del suelo. Rillig et al. (2002) y Wu et al., (2011) también encontraron correlación positiva entre la estabilidad de agregados del suelo y la concentración de glomalina. Sin embargo, en ninguno de los trabajos citados se cuantificó el rendimiento de los cultivos, y en consecuencia tampoco se hicieron correlaciones entre la productividad y la concentración de glomalina, como en este trabajo.

Conclusión

La concentración de glomalina en el suelo permite cuantificar la fertilidad del suelo, y puede ser empleada como un bio-indicador de la calidad edáfica en

Bibliografía

- Adam, G., y H. Duncan. 2001. Development of a sensitive and rapid method for measurement of total microbial activity using fluorescein diacetate (FDA) in a range of soils. *Soil Biol. Biochem.* 33:943-951.
- Alef, K. 1995. Soil respiration. En: Alef, K., Nanninpietri, P. (Eds.). *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry.* Academic Press. Harcourt Brace and Company publishers, London UK, pp. 214-219.
- Biederbeck, V.O., C.A. Campbell, y R.P. Zenter. 1984. Effect of crop rotation and fertilization on some biological properties of a loam in southwestern Saskatchewan. *Can. J. Soil Sci.* 64:335-367.
- Black, C.A. 1965. *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties.* American Society of Agronomy, Inc., Publisher Madison, Wisconsin, pp. 770.
- Bremner, J.M. 1996. Nitrogen-total. In: *Methods of soil analysis, Part 3, Chemical methods.* Sparks, DL (Ed.). *Soil Sci. Soc. Am. Book series N° 5*, pp. 1085-1128.
- Bray, R.H., y L.T. Kurtz. 1945. Determination of total organic and available forms of Phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59:39-45.
- Beauregard, M.S., C. Hamel, N. Atul, y M. St-Arnaud. 2009. Long term phosphorus fertilization impacts soil fungal and bacterial diversity but not AM fungal community in alfalfa. *Microb. Ecol.* 59:379-389
- Buyanovsky, G.A., y G.H. Wagner. 1987. Carbon transfer in a winter wheat (*Triticum aestivum*) ecosystem. *Biol. Fert. Soil* 5: 76-82.
- Clegg, C. 2006. Impact of cattle grazing and inorganic fertilizer additions to managed grasslands on the microbial community composition of soils. *App. Soil Ecol.* 31:73-82.

- Corvalán, E.R., A. Franzoni, J. Huidobro, y J.L. Arzeno. 2000. In: Actas del XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata. Método de microtamices para la determinación de la estabilidad de agregados del suelo, 1-2 mm. Comisión I - Panel 25.
- Doran, J.W., y T.B. Parkin. 1994. Defining and assessing soil quality. In: Doran, JW, Coleman, DC, Bezdiceck, DF, Stewart, BA (Eds). Defining soil quality for a sustainable environment, vol.35. Madison,WI. Soil Sci. Soc. Amer. Special Publications. p.3-21.
- Fontanive, A., H. Jiménez, A. de la Horna, D. Effron, y L. Defrieri. 2004. Determinación de azufre inorgánico en suelos. Método turbidimétrico. En: Sistemas de apoyo metodológico para Laboratorio de Análisis de suelo, agua, vegetales y enmiendas orgánicas. SAGPyA. ISBN 987-9184-40-8
- García, C., M.T. Hernández, y F. Costa. 1997. Potential use of dehydrogenase activity as an index of microbial activity in degraded soils. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 28:123-134.
- Graham, J.H., y L.K. Abbott. 2000. Wheat responses to aggressive and non-aggressive arbuscular mycorrhizal fungi. Plant Soil 220:207-218.
- Mosse, B., y J.M. Phillips. 1971. The influence of phosphate and other nutrients on the development of vesicular-arbuscular mycorrhiza in culture. J. Gen. Microbiol. 1971: 157-166.
- Rillig, M.C., S.F. Wright, y V.T. Eviner. 2002. The role of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin in soil aggregation: Comparing effects of five plant species. Plant Soil 238:325-333
- Tabatabai, M.A., y J.M. Bremner. 1969. Técnicas de análisis de parámetros bioquímicos en suelos: Medida de actividades enzimáticas y biomasa microbiana. García Izquierdo, C. (Ed.). Mundi-Prensa Libros, S.A. 1ª ed., 1ª imp.(09/2003), pp. 371.
- Vargas Gil, S., A. Becker, C. Oddino, M. Zuza, A. Marinelli, y G. March. 2009. Soil biological, chemical and physical responses to the impact of tillage intensity, fertilization, and cattle grazing in a long-term field trial. Environ. Manag. 44:378-376.
- Wright, S.F., y A. Upadhyaya. 1996. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi. Soil Sci. 161: 575-586.
- Wright, S.F., y A. Upadhyaya. 1999. Quantification of arbuscular mycorrhizal fungi activity by the glomalin concentration on hyphal traps. Mycorrhiza 8:283-285.
- Wilson, G.W.T., C.W. Rice, M.C. Rillig, A. Springer, y D.C. Hartnett. 2009. Soil aggregation and carbon sequestration are tightly correlated with the abundance of arbuscular mycorrhizal fungi: Results from long-term field experiments. Ecol Lett 12:452-461.
- Wu, F., M. Dong, Y. Liu, X. Ma, L. An, J.P.W. Young, y H. Feng. 2011. Effects of long-term fertilization on AM fungal community structure and Glomalin-related soil protein in the Loess Plateau of China. Plant Soil 342:233-247.*

Cursos y Simposios

1. Fertilizer Latino Americano 2013

Organiza : CRU Group
Lugar : Sao Paulo, Brasil
Fecha : Enero, 20-22, 2013
Información : conferences@crugroup.com
<http://www.fla-conference.com>

2. Especialización en Manejo de Suelos y Cultivos en Siembra Directa

Organiza : Facultad de Agronomía, UBA.
Lugar : Buenos Aires, Argentina
Fecha : Abril, 1, 2013
Información : Directora: Haydeé Steinbach
 sdirecta@agro.uba.ar
<http://epg.agro.uba.ar>

3. Simposio Fertilidad 2013

Organiza : IPNI - Fertilizar Asociación Civil
Lugar : Rosario, Argentina
Fecha : Mayo, 22-23, 2013
Información : IPNI Cono Sur
<http://Lacs.ipni.net>
<http://www.fertilizar.org.ar>

4. XIII Expo Agua y Medio Ambiente

Organiza : ExpoAgua
Lugar : Buenos Aires, Argentina
Fecha : Junio, 5-7, 2013
Información : info@expoagua.com.ar
<http://www.expoagua.com.ar>

5. InfoAg Conference 2013

Organiza : IPNI
Lugar : Springfield, Illinois, EE.UU.
Fecha : Julio 16-18, 2013
Información : <http://www.infoag.org>

6. XX Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo

Organiza : IUSS
Lugar : Jeju, Corea
Fecha : Junio 8-13, 2014
Información : IUSS
 Telf.: (44) 01224 498200
<http://www.iuss.org>